

# 柔性杆件系统虚拟样机设计及其动力学仿真分析

肖国伟, 李 光

(湖南工业大学 机械工程学院, 湖南 株洲 412008)

**摘 要:** 针对杆件设计轻型化和杆件运动高速化发展, 杆件系统中轻质杆件的柔性显著增加, 在 ADAMS 环境中设计柔性杆件系统虚拟样机, 并进行其动力学仿真分析。算例结果表明, 杆件柔性对系统运动精度和寿命产生了重要影响, 在杆件系统设计时应予以考虑这种影响, 提高设计精度。

**关键词:** 虚拟样机; 柔性杆件系统; ADAMS

**中图分类号:** TP391

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9833(2009)04-0062-03

## Design of Virtual Prototype for Flexible Member Systems and Its Dynamics Simulation Analysis

Xiao Guowei, Li Guang

(School of Mechanical Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412008, China)

**Abstract:** Along with development of members' lighter-weight designing and working rate increasing, the flexibility of light members in the system is increased significantly. For that, in ADAMS environment the design of a virtual prototype of the flexible member system is performed and the dynamic simulation analysis is made. The simulation results indicate that the members' flexibility has an important impact on the system's movement accuracy and on its working life, which should be considered in the process of the system design to improve the design accuracy.

**Keywords:** virtual prototype; flexible member systems; ADAMS

杆件系统由于结构简单、机械强度高、运动灵活、低能耗等优点, 在机械、车辆、机器人、航空航天等各工程领域得到广泛应用<sup>[1]</sup>。传统设计中, 杆件系统的结构及运动学研究差不多都是基于系统为刚性的前提, 以几何的观点来确定各关键点运动学性能(位移、速度等), 忽略了系统中某些轻质、高速构件的动力学及弹性变形所引起的影响。随着杆件设计轻型化和杆件运动高速化发展的需要, 杆件的柔性显著增加, 其弹性变形对系统整体运动的影响是不容忽略的<sup>[2]</sup>。本文以机械中常见的杆件系统——曲柄滑块机构(考虑连杆的柔性)为实例, 运用机械动力学虚拟样机软件 ADAMS, 建立其虚拟样机模型, 通过动态仿真, 分析

滑块的运动性能, 得出杆件柔性对系统运动精度和寿命的影响。

## 1 虚拟样机技术概述

### 1.1 ADAMS 软件简介

美国 MDI 公司开发的 ADAMS 软件以计算多体系统动力学为基础, 包含机械系统运动学和动力学仿真技术、三维 CAD 建模技术、有限元分析技术(FEA)、机电液控制技术、最优化技术等虚拟样机技术。运用 ADAMS 的虚拟样机技术可以较容易地建立包括机—电—液—一体化在内的任意复杂系统的多体动力学数字

收稿日期: 2009-04-30

基金项目: 湖南省教育厅科研基金资助重点项目(05A048)

作者简介: 肖国伟(1982-), 男, 湖南衡阳人, 湖南工业大学硕士研究生, 主要研究方向为包装机械设计理论及控制技术,

E-mail: govic@163.com

化虚拟样机模型, 能为用户提供从产品概念设计、方案论证、详细设计、到产品方案修改、优化、试验规划甚至故障诊断各阶段、全方位、高精度的仿真计算结果分析, 从而达到缩短产品开发周期、降低开发成本、提高产品质量及竞争力的目的<sup>[3]</sup>。现广泛地应用于航空航天、汽车制造、铸造、产品设计等各个方面。

## 1.2 柔性杆件系统虚拟样机设计步骤

基于 ADAMS 进行柔性杆件系统虚拟样机设计大致分为几何建模、添加约束和施加载荷、样机仿真分析及调试、结果后处理几个阶段<sup>[4]</sup>, 如图 1 所示。

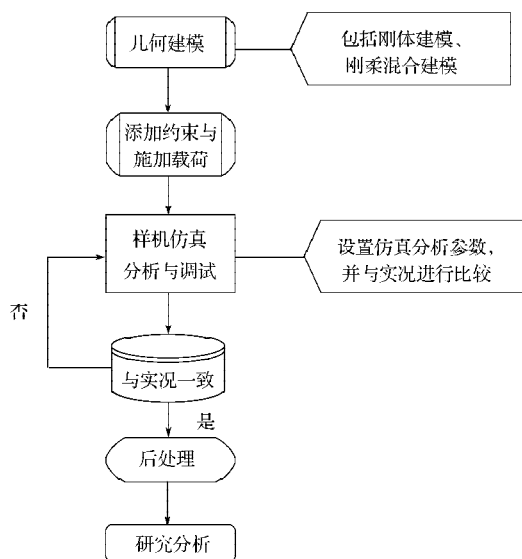


图 1 ADAMS 虚拟样机设计流程图

Fig. 1 Flow chart of ADAMS virtual prototype design

## 2 应用实例

设计如图 2 所示曲柄滑块机构虚拟样机, 并对其进行动力学仿真分析。考虑连杆为柔性, 各参数选取如下: 曲柄质量  $m_1 = 0.7697 \text{ kg}$ , 曲柄长度  $L_1 = 0.0260 \text{ m}$ , 钢材为 45 号钢材, 其密度为  $\rho = 7.8010 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ , 弹性模量为  $E = 2.0700 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ ; 连杆截面为矩形, 质量  $m_2 = 0.0241 \text{ kg}$ , 连杆长度  $L_2 = 0.2050 \text{ m}$ , 宽度  $b_2 = 0.008 \text{ m}$ , 厚度为  $h_2 = 0.002 \text{ m}$ , 材料同上; 滑块质量  $m_3 = 0.225 \text{ kg}$ , 与滑道的摩擦系数为 0.13, 材料为铸铜。阻尼比例系数  $\xi_i = 0.03$ , 曲柄的角速度  $\omega_1 = 240 \text{ r/min}$ ,  $\omega_2 = 1200 \text{ r/min}$ 。

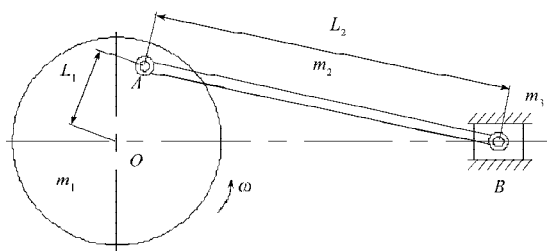
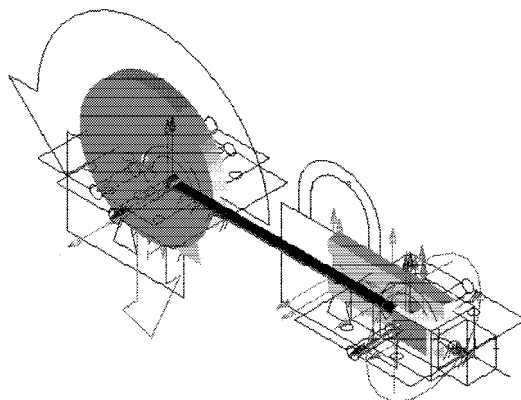


图 2 曲柄滑块机构 (连杆为柔性) 示意图

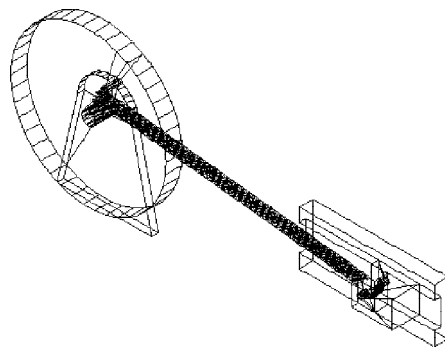
Fig. 2 Diagram of slider-crank mechanism with flexible link

## 2.1 曲柄滑块机构虚拟样机的建立

该虚拟样机设计涉及到刚-柔混合建模, 刚性构件的创建与其它三维软件类似, 也可通过模型数据交换接口 Parasolid、STEP、IGES、SAT、DXF 和 DWG 等格式导入 CAD 模型建立; 柔性体的模型建立是关键, ADAMS 中提供了多种柔性体建模的方法, 这里直接在 ADAMS/AutoFlex 建立柔性体的 MNF 文件, 然后通过 Rigid to Flex 进行柔性体替代刚性体, 直接在 ADAMS 中建立柔性模型<sup>[5-6]</sup>。通过上述方法, 建立刚-柔混合模型, 再按要求添加相应的约束和施加载荷, 定义材料属性等, 建立的模型如图 3 所示。



a) 几何模型



b) 有限元网格模型

图 3 ADAMS 中建立的柔性曲柄滑块机构虚拟样机模型

Fig. 3 The virtual prototype model of flexible slider-crank mechanism in ADAMS

## 2.2 仿真结果分析

针对柔性响应求解, 采用 ADAMS 虚拟样机软件仿真分析, 分别得到刚性连杆系统、弹性连杆系统的动态响应情况, 然后将弹性响应结果减去刚性响应结果, 就可以得到系统的弹性运动学性能曲线 (也就是刚柔误差曲线)。图 4、5 分别显示了曲柄转速在  $\omega = 240 \text{ r/min}$  和  $\omega = 1200 \text{ r/min}$  时在 1 个周期内滑块的柔性位移变化曲线。

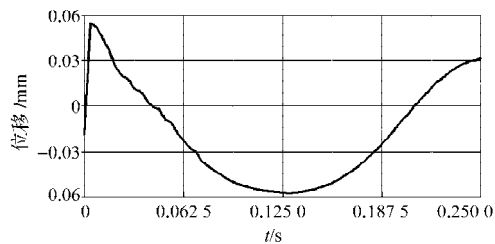


图4 转速为 240 r/min 时 1 个周期内滑块柔性位移

Fig. 4 Slider flexible displacement in a cycle at a speed of 240 r/min

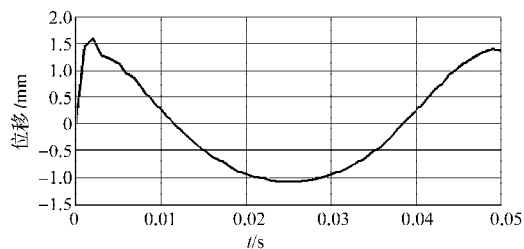


图5 转速为 1200 r/min 时 1 个周期内滑块柔性位移

Fig. 5 Slider flexible displacement in a cycle at a speed of 1200 r/min

图4、5显示,在转速为240 r/min时的最大柔性位移约为0.06 mm,而在转速增大倍为1200 r/min时,柔性位移达到1.5 mm,增加了近倍。随着转速的不断提高,柔性杆件引起的柔性位移会更大,这势必造成运动精度的降低。在设计柔性连杆系统时,就必须考虑柔性效应,才能达到预期目的。

图6、7分别显示的是曲柄转速在 $\omega = 240$  r/min 和  $\omega = 1200$  r/min 时一个周期内滑块在滑道上的柔性速度变化曲线。

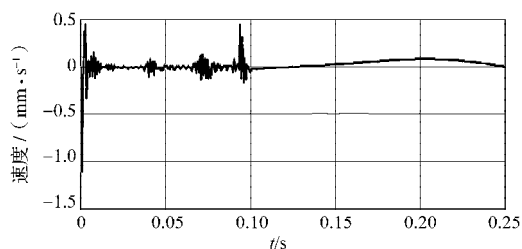


图6 转速为 240 r/min 时 1 个周期内滑块柔性速度

Fig. 6 Slider flexible velocity in a cycle at a speed of 240 r/min

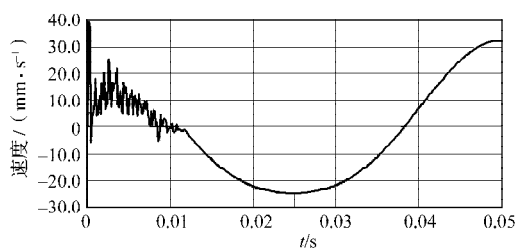


图7 转速为 1200 r/min 时 1 个周期内滑块柔性速度

Fig. 7 Slider flexible velocity in a cycle at a speed of 1200 r/min

从图6、7可以看出,柔性连杆在运动过程中存在相当明显的振动,并且随着运转速度的提高,这种振动越强烈,这必将严重影响系统的运作,缩短系统的使用寿命。

### 3 结论

杆件系统中柔性体对整个系统的运动精度及系统的寿命产生了较大的影响,在ADAMS环境中设计柔性曲柄滑块机构虚拟样机并进行动力学仿真研究结果证实了这一结论。显然,在以高速、精密、轻型为主要特征的现代高性能机械设计中,这种影响是不容忽略的。

#### 参考文献:

- [1] 李美之. 柔性多杆系统的动力学问题研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2004.  
Li Meizhi. Study on Flexible Multi-Links System Dynamics [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2004.
- [2] 张劲夫, 贾丽俊, 秦卫阳. 柔性连杆机构动力学研究进展[J]. 机械科学与技术, 2005, 24(2): 199-202.  
Zhang Jinfu, Jia Lijun, Qin Weiyang. Advances of Research of Flexible Linkages Dynamics[J]. Mechanical Science and Technology, 2005, 24(2): 199-202.
- [3] 郑建荣. ADAMS——虚拟样机技术入门与提高[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.  
Zheng Jianrong. ADAMS——Introduction and Improvement of Virtual Prototyping Technology[M]. Beijing: China Machine Press, 2002.
- [4] 芮执元, 魏兴春, 冯瑞成. 基于ADAMS的虚拟样机及其在机构设计中的应用[J]. 科学技术与工程, 2006, 19(6): 3111-3114.  
Rui Zhiyuan, Wei Xingchun, Feng Ruicheng. Virtual Prototyping Technology Based on ADAMS and Its Application in Mechanism Design[J]. Science Technology and Engineering, 2006, 19(6): 3111-3114.
- [5] 廉自生, 刘楷安. 虚拟样机中的柔化方法分析[J]. 煤矿机械, 2005(4): 59-61.  
Lian Zisheng, Liu Kaian. Analysis Method of Flexible Body in Virtual Prototype[J]. Coal Mine Machinery, 2005(4): 59-61.
- [6] 张伟, 孙传琼. 曲柄滑块机构的柔性分析[J]. 装备维修技术, 2008(1): 1-12.  
Zhang wei, Sun Chuanqiong. The Flexibility Analyzes of Slider-Crank Mechanism[J]. Technology of Equipment Maintenance, 2008(1): 1-12.

(责任编辑: 张亦静)